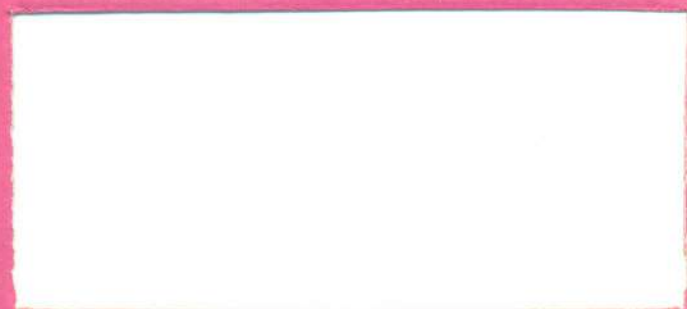




interferencia y difracción

Textos preparados por Fernando Daroqui con la colaboración
del departamento técnico de ECYT.

ECYT
Hecho el depósito de ley
Impreso en Argentina - Printed in Argentine

Contenido

Primera Parte

Medición de Longitudes de Onda:

Doble ranura

Multiples ranuras

Ranura simple

Segunda Parte

Estudio de Intensidades:

Difracción por una sola ranura

Interferencia por doble ranura

Interferencia por multiples ranuras

Anexo I

Anexo II

**Medición de longitudes
de onda**

INTRODUCCION

Este equipo ha sido diseñado con un doble criterio. Por un lado, con objetivos que hacen a los cursos universitarios de Física General, a saber:

- Observar fenómenos que en su momento aportaron evidencias a favor del modelo ondulatorio de la luz.
- Observar la influencia de distintos parámetros en tales fenómenos.
- Efectuar determinaciones de la longitud de onda de la luz de un color determinado, mediante varios métodos simples.

Por otra parte, el equipo permite que alumnos de cursos más avanzados o particularmente motivados por el tema, verifiquen las expresiones teóricas de intensidad en los fenómenos de difracción e interferencia. Dado que ello requiere el uso de instrumental del que generalmente carecen los centros universitarios que no trabajan específicamente en este tema, se ha considerado conveniente incluir curvas que se han obtenido experimentalmente y a partir de las cuales los alumnos deberán realizar su trabajo.

EQUIPO DE DIFRACCION E INTERFERENCIA

DESCRIPCION:

El equipo básico (12 - 625) (Fig. 1) consta de:

Ref.	Descripción	Código N°
a)	Fuente de Luz	12-625
b)	Guiones	12-625-6
c)	Filtros rojo, y azul	12-626
d)	Diapositiva A (ranura doble) $d = 6,8 \times 10^{-5} \text{ m}$; $a = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$.	12-627-1
e)	Diapositiva B (ranura doble) $d = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m}$; $a = 1 \times 10^{-5} \text{ m}$.	12-627-2
f)	Diapositiva C (ranuras múltiples) $d = 8,4 \times 10^{-5} \text{ m}$; $a = 1,2 \times 10^{-5} \text{ m}$.	12-627-3
g)	Diapositiva D (tres rendijas simples) $a_1 = 1,1 \times 10^{-4} \text{ m}$; $a_2 = 2,0 \times 10^{-4} \text{ m}$; $a_3 = 4,0 \times 10^{-4} \text{ m}$	12-627-4

El equipo completo (15 - 630) incluye además del equipo básico:

h)	Lente con ranura	12 - 631
----	------------------	----------

La fuente tiene una pantalla translúcida con escala milimétrica grabada sobre la misma. Dicha pantalla permite posicionar con precisión los guiones que indicarán la ubicación de las franjas de interferencia.

La lámpara se alimenta con 12 V. corriente continua o alterna. La lente mejora la definición de los máximos de intensidad.

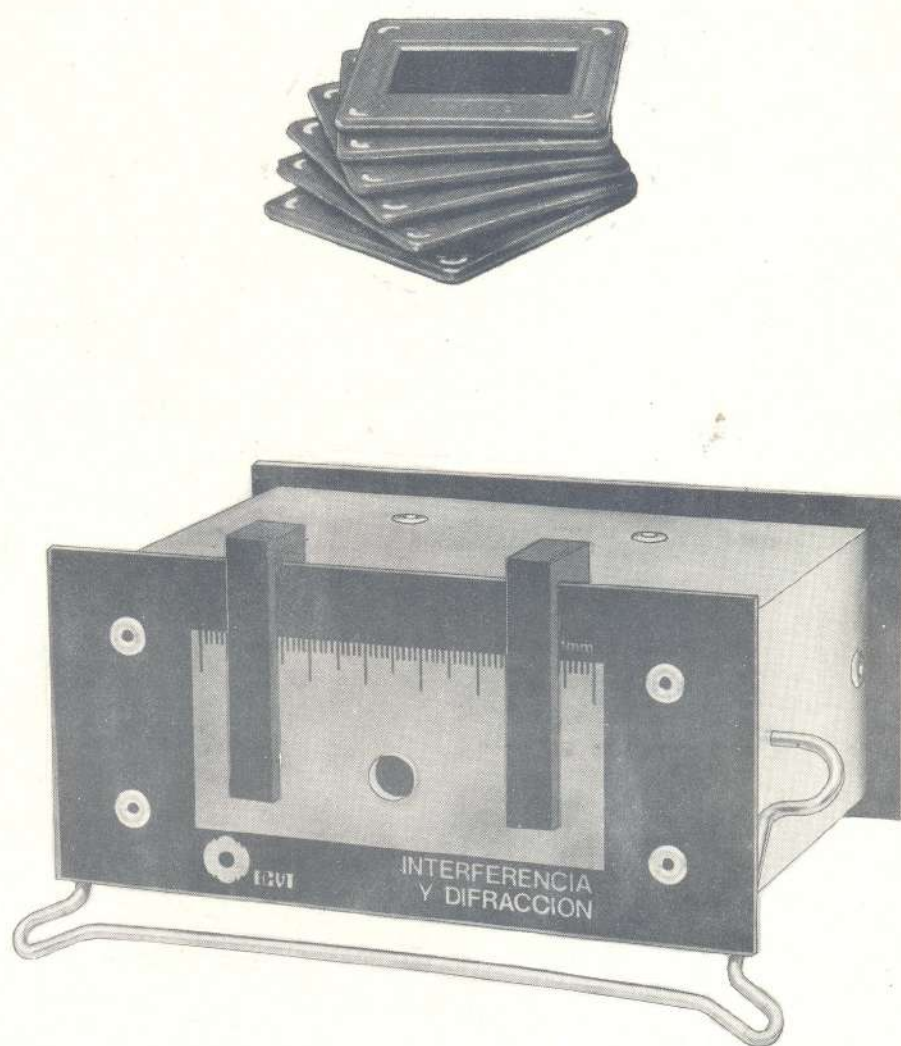


Fig. 1

MEDICION DE LONGITUDES DE ONDA CON DOBLE RANURA

Consideraciones teóricas:

En la experiencia original realizada por Young, un frente de ondas de luz monocromática (de longitud de onda λ) que proviene de una ranura R, atraviesa dos ranuras R_1 y R_2 generando dos conjuntos de ondas esféricas que interfieren (Fig. 2).

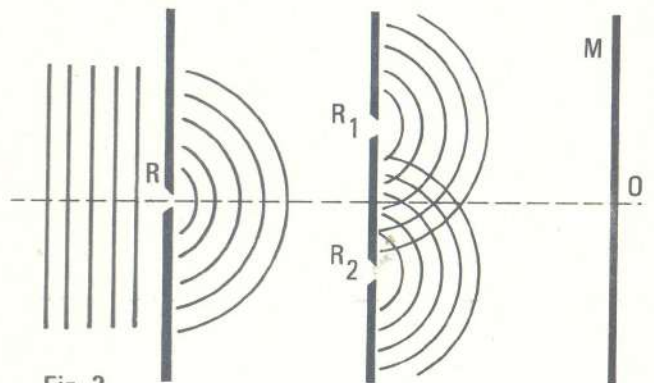


Fig. 2

El diagrama interferencial de intensidad variable que resulta, se observa sobre la pantalla M (Fig. 3). A fin de encontrar la expresión que describe la posición de las franjas de interferencia medidas a partir del máximo central, se analiza lo que sucede en un punto P, de la pantalla. Dos ondas generadas en R_1 y R_2 llegarán a P con una diferencia de camino $PR_2 - PR_1$ que será igual a $m\lambda$ o a $(m + 1/2)\lambda$ según que P corresponda a un máximo o a un mínimo de intensidad respectivamente (Fig. 4).



Fig. 3

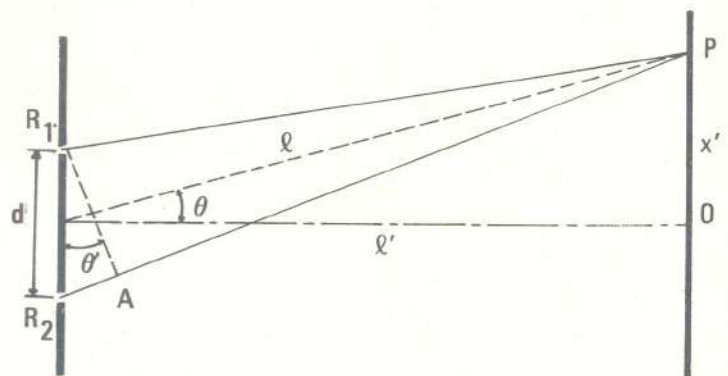


Fig. 4

En las expresiones anteriores hemos indicado con m el número de orden del máximo o mínimo considerado, medido a partir del centro.

En la hipótesis de que ℓ sea suficientemente grande comparada con la separación entre rendijas (lo que ocurre en la generalidad de los casos) los rayos PR_2 y PR_1 pueden considerarse paralelos. En tal caso, llamando d a la separación entre ranuras:

$$PR_2 - PR_1 = R_2 A = d \sin \theta \quad (1)$$

De acuerdo a las consideraciones anteriores, si P coincide con un máximo

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (2)$$

y si P coincide con un mínimo

$$d \sin \theta = (m + 1/2) \lambda \quad (3)$$

Las expresiones (2) y (3) se refieren a los casos extremos de interferencia totalmente constructiva o totalmente destructiva respectivamente. En cualquier otro caso en que la diferencia de caminos $PR_2 - PR_1$ no sea un número entero o semientero de longitudes de onda, la intensidad de la onda resultante estará comprendida entre el máximo y el mínimo.

Para efectuar mediciones de longitudes de onda se realiza la siguiente aproximación:

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{x'}{\ell'} \quad (4)$$

donde x' es la distancia -medida sobre la pantalla- que media entre la franja central y la de orden m , y ℓ' es la distancia entre pantalla y rendija. Relacionando las ecuaciones (2), (3) y (4), se obtiene:

$$\lambda = \frac{d x'}{m \ell'} \quad \text{para máximos} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{d x'}{(m+1/2)\ell'} \quad \text{para mínimos} \quad (6)$$

con $m = 0, 1, 2, \dots$

Si bien la experiencia fue realizada por Young de la manera descripta, es decir proyectando el diagrama interferencial, sobre una pantalla, no es fácil reproducirla, ya que las condiciones de puesta a punto son críticas: la fuente debe ser muy intensa y el laboratorio debe mantenerse en completa oscuridad.

A fin de eliminar estas dificultades, puede utilizarse como pantalla la retina del observador y ubicar las rendijas junto al ojo (Fig. 5). De esta manera el ojo trabaja como cámara oscura, obviando la necesidad de oscurecer el laboratorio. Además, toda la energía luminosa disponible -después que los rayos han atravesado las rendijas- impresiona directamente la retina, sin que se produzcan, como en el caso anterior, grandes pérdidas en la intensidad de la luz, que llegan al ojo del observador, debido a la difusión por la pantalla.

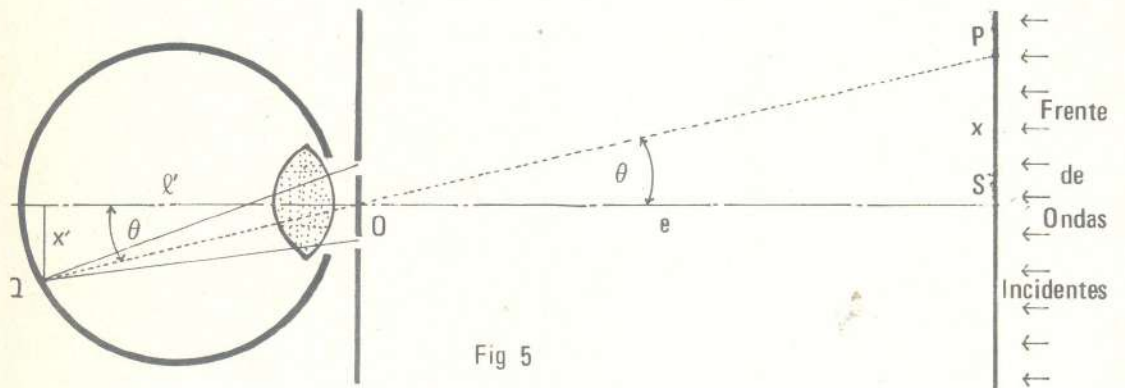


Fig 5

Es importante destacar que para el ojo, las franjas oscuras y claras que constituyen el diagrama interferencial, se han formado fuera de él. Colocando una pantalla frente al observador éste cree ver sobre la misma una imagen que en realidad se ha formado fuera de él. Si se coloca una pantalla frente al observador este afirmará que las franjas se han formado sobre la misma y no sobre la retina.

Dicha impresión que es totalmente subjetiva- permite efectuar la medición por un camino indirecto, ya que obviamente la vía directa -medir sobre la retina del ojo- no es viable. Las expresiones (5) y (6) que se usan para el método directo, siguen siendo válidas ya que si se comparan los triángulos OPS y OQR (Fig. 5) se deduce que:

$$\frac{x'}{e'} = \frac{x}{e}$$

donde x es la distancia -medida sobre la pantalla translúcida- que media entre la franja de orden m y la franja central; e es la distancia entre pantalla y rendija. Las expresiones (5) y (6) se pueden escribir:

$$\lambda = \frac{d}{m} \frac{x}{e} \quad \text{para máximos} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{d}{(m+1/2)} \frac{x}{e} \quad \text{para mínimos} \quad (8)$$

Si comparamos esta forma de realizar la experiencia con la de Young, vemos que salvo una lente -el cristalino- la geometría del sistema es la misma.

Uso del equipo:

Antes de conectar el equipo a una fuente (12 V.), es recomendable verificar que el filamento de la lámpara esté en posición vertical. Si así no fuera, se la debe rotar suavemente hasta lograrlo. De no adoptarse esta precaución, se introducen errores en la medición ya que el filamento actúa como fuente cumpliendo las funciones de la ranura R y de no estar vertical, las franjas se observan oblicuas. Si se dispone de la lente, verifíquese que la ranura de la misma se encuentre también en posición vertical.

A fin de obtener un diagrama interferencial y realizar observaciones cualitativas, se recomienda utilizar la diapositiva A y observar a través de la misma en la dirección del filamento. En la pantalla se verán superpuestas franjas brillantes de distintos colores, siendo más acentuada la separación de colores para los máximos de orden superior. La separación angular para las franjas es función de la longitud de onda, como lo expresan las ecuaciones (7) y (8).

Para medir la longitud de onda de un color determinado, se recomienda utilizar la diapositiva B colocando junto a la misma, el filtro del color deseado. Este conjunto se dispondrá de la manera indicada anteriormente a una distancia conocida de la pantalla.

Para medir la distancia x a la misma línea brillante, se utilizan los guiones, los que se desplazan hasta que uno de ellos coincide con la posición del máximo central -orden cero- y el otro con la línea seleccionada.

Las consideraciones anteriores son válidas también para mínimos.

La medición resulta mucho más simple si se determina la distancia $2x$ entre dos franjas emésimas situadas a ambos lados del filamento. (Obviamente este valor debe dividirse por dos, asignar a m el entero correspondiente al máximo elegido y reemplazar en la fórmula (7)).

Debido al ancho de las franjas, es necesario cuidar la ubicación de los guiones (Fig. 6 a, b, c).

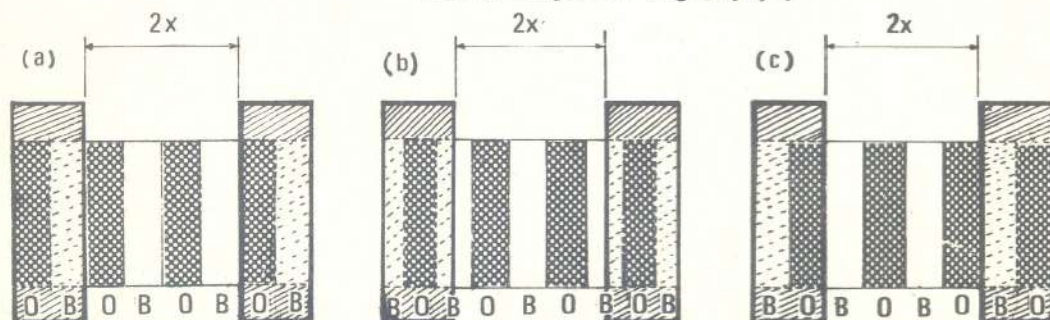


Fig. 6

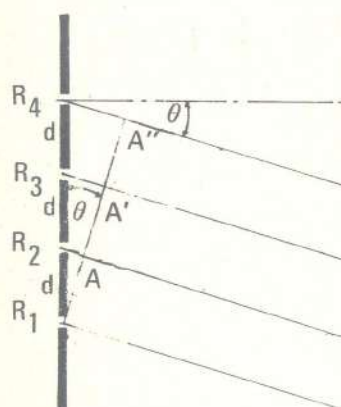


Fig. 7

Resultados Experimentales:

Se detallan a continuación los valores de λ obtenidos para distintos filtros y distintas distancias de la pantalla al conjunto diapositiva-filtro.

Filtro rojo:

$\hat{e}$ [cm]	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$ [cm]	λ [Å]
100	1,750	1,775	1,800	1,775	6.200
150	2,700	2,600	2,650	2,650	6.180

Filtro verde:

$\hat{e}$ [cm]	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$ [cm]	λ [Å]
100	1,575	1,550	1,500	1,545	5.400
150	2,300	2,350	2,250	2,300	5.360

En todos los casos el valor de x corresponde a la separación entre la franja central ($m = 0$) y la segunda ($m = 2$).

MEDICION DE LONGITUDES DE ONDA CON RANURAS MULTIPLES

Consideraciones teóricas:

La disposición de los elementos para observar el diagrama interferencial, es la misma que en el caso anterior. Para simplificar la descripción se supone que la pantalla está en infinito y todos los rayos que parten de las ranuras, son paralelos (fig. 7). Se consideran dos ranuras cualesquiera, por ejemplo, R_1 y R_2 .

Si la diferencia de caminos ($R_2A = d \sin \theta$) entre los rayos que emergen de R_1 y R_2 es $m\lambda$ la interferencia es constructiva y se tendrá un máximo sobre la pantalla.

Por ser los triángulos R_1A , R_2A' y R_3A'' semejantes, la diferencia de caminos entre los rayos que parten de R_1 y de R_3 (siempre en las condiciones de máximo) será $2m\lambda$, es decir un número entero de longitudes de onda. Ello implica que el rayo que parte de R_3 contribuye en forma constructiva a la intensidad total.

Este análisis vale para N ranuras y todas contribuyen de la misma manera, de lo que se concluye que la expresión que describe la posición de las franjas en el caso de N ranuras es la misma que para doble abertura.

El hecho de que sean N ranuras las que contribuyan a un máximo o a un mínimo en lugar de dos, se traduce en mayor intensidad de las líneas y por lo tanto en mayor precisión en las medidas.

Uso del equipo:

Se deben seguir las mismas recomendaciones que en el caso anterior y reemplazar la diapositiva B por la C.

Resultados experimentales:

Se detallan las mediciones realizadas en las mismas condiciones que en el caso anterior.

Filtro rojo:

e [cm]	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$ [cm]	λ [Å]
100	1,500	1,500	1,450	1,484	6,540
150	2,200	2,200	2,200	2,200	6,460

Filtro verde:

e [cm]	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$ [cm]	λ [Å]
100	1,250	1,250	1,250	1,250	5,500
150	1,850	1,850	1,875	1,866	5,460

Se observa que la dispersión de las mediciones de x es menor que con doble abertura.

MEDICION DE LONGITUDES DE ONDA POR UNA SOLA RANURA

Consideraciones Teóricas:

El patrón de difracción que se obtiene cuando en lugar de R_1 y R_2 (Fig. 2) se coloca una sola ranura R , tiene características similares a las anteriores. Presenta máximos y mínimos de intensidad.

Para explicar en forma elemental este fenómeno y encontrar la relación entre la posición de los máximos y mínimos, el ancho de la ranura y la longitud de onda se emplea el siguiente artificio: considerar la abertura de ancho a dividida en dos partes iguales y a su vez cada mitad como si fuera un conjunto de n emisores consecutivos de ondas esféricas (Fig. 8)

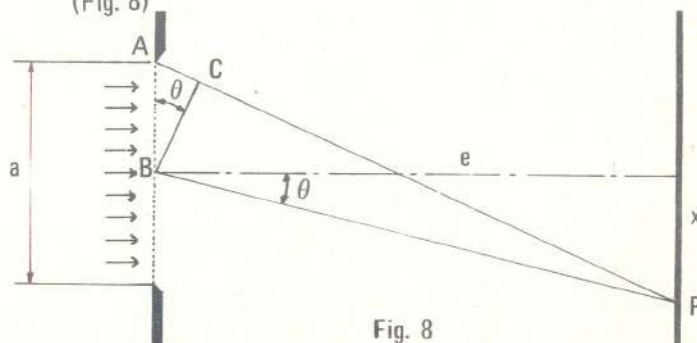


Fig. 8

Tomando dos de estos emisores (tales como A y B) y comparando sus diferencias de caminos se encuentra que:

$$AC = \frac{a}{2} \sin \theta = m \lambda \quad (7.a)$$

$m = 0, 1, 2, \dots$ para los máximos

$$AC = \frac{a}{2} \sin \theta = (m + 1/2) \lambda \quad 8 a$$

$m = 0, 1, 2, \dots$ para los mínimos

tomando los pares de emisores siguientes, se obtienen las mismas relaciones anteriores.

Para un cálculo más detallado, se consideran los emisores de ancho diferencial y se integran las contribuciones de cada uno. La expresión final es idéntica para los mínimos y ligeramente distinta para los máximos.

Si igual que en los casos anteriores, reemplazamos $\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{x}{e}$ en (7) y (8) las ecuaciones quedan en función de

cantidades fácilmente medibles.

$$\frac{a}{2} \cdot \frac{x}{e} = m \lambda \quad (9)$$

Uso del equipo:

En este caso se emplea la diapositiva D con la cual pueden hacerse dos tipos de medición:

- a) con los valores dados del ancho de las aberturas, medir la longitud de onda de la luz.
- b) con los valores de λ medidos por cualquiera de los métodos anteriores determinar el ancho de cada ranura.

Puede observarse además, en forma cualitativa, como influye el ancho de la ranura en la separación de las franjas observadas.

Se detallan valores obtenidos efectuando mediciones con la diapositiva D y empleando la ranura de ancho $a = 1 \times 10^{-4} \text{ m}$.

e [cm]	x_1	x_2	x_3	$\bar{x}$ [cm]	λ [Å]
100	1,27	1,29	1,37	1,31	6.400
150	1,87	2,00	1,89	1,92	6.550

Estos resultados se obtuvieron midiendo la separación $2x$ entre el primer par de nodos ($m = 0$).

Estudio de Intensidades

DIFRACCION POR UNA RANURA

Consideraciones teóricas

Considerando la abertura como un conjunto de ranuras consecutivas de ancho diferencial e integrando todas las contribuciones, se obtiene para la intensidad, la siguiente expresión:

$$I \sim A^2 = A_o^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \quad (10)$$

donde:

$$A_o = k \frac{a}{e}$$

$$\beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \cong \frac{\pi a}{\lambda} \frac{x}{e}$$

- A_o^2 es la intensidad del máximo principal para $\beta = 0$
- x es la distancia a un punto P sobre la pantalla medida a partir del máximo principal.
- a es el ancho de la rendija.
- θ es el ángulo entre la línea central y la que une el centro de la rendija con el punto P.
- e es la distancia ranura-pantalla.
- k es una constante indeterminada.

El ojo humano, a pesar de ser un excelente instrumento óptico, no es capaz de realizar mediciones de tipo cuantitativo de la "cantidad" de luz que le llega.

En el caso de estar observando un patrón de difracción y de acuerdo con la expresión (10), se puede decir que la intensidad no es la misma en el máximo principal que en los secundarios y también que ésta varía dentro de cada uno de ellos; sin embargo, el ojo no puede precisar qué relación de intensidades hay entre ellos, ni tampoco en qué forma varían. Es menester recurrir a otros dispositivos que permitan hacer estas determinaciones.

Uso del equipo:

Para realizar la experiencia, se toma la diapositiva A, se la coloca a una distancia e de la fuente y se cubre una de las ranuras cuidadosamente colocando un trozo de papel negro en contacto con el celuloide (Fig. 9).

Posteriormente, se coloca una cámara fotográfica junto a la diapositiva en el lugar que ocupaba anteriormente el ojo (Fig. 10).

Una buena fotografía se logra enfocando la cámara sobre la pantalla de la fuente.

Una vez revelada la placa, aparece en el negativo un conjunto

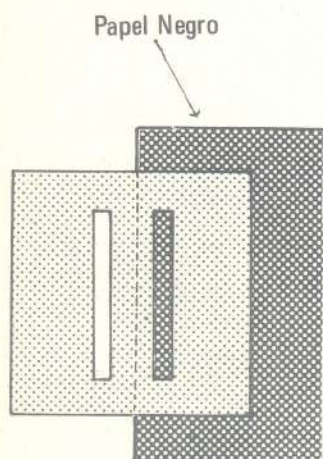


Fig. 9

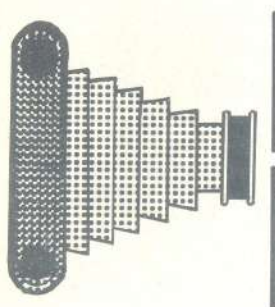


Fig. 10

de manchas que, salvo un factor de tamaño, guardan exacta relación con las observadas sobre la pantalla.

El negativo se coloca luego en un microdensímetro -fotómetro de alta sensibilidad- cuyo trazador grafica el perfil de intensidad (Fig. 11, anexo). Debido a que pocas instituciones de enseñanza cuentan con este equipo, se adjuntan gráficos obtenidos experimentalmente. Copias de estos mismos podrán entregarse a los alumnos para su análisis.

A fin de efectuar la comparación entre los valores teóricos y los experimentales se debe trazar la curva teórica para lo cual se calcula numéricamente la intensidad en función de x .

Para este cálculo, hay que tener en cuenta que:

- a) la función $\text{sen}^2 \beta / \beta^2$ es de tipo universal en el sentido de que se puede graficar independientemente de los datos experimentales (β está expresada en radianes).
- b) para levantar la indeterminación en el origen ($\beta = 0$) se toma

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} A_0^2 \frac{\text{sen}^2 \beta}{\beta^2} = A_0^2$$

asignándose a A_0^2 un valor arbitrario ya que k es una constante indeterminada.

Teniendo en cuenta estas consideraciones calculando punto a punto algunos valores para I y realizando el trazado gráfico se obtiene una función simétrica respecto del origen (Fig. 12, anexo).

Debido a factores de escala dicho gráfico teórico no es comparable directamente con el obtenido utilizando el microdensímetro. En consecuencia es necesario adecuar las escalas en ordenadas y abscisas y obtener un nuevo gráfico teórico que sea comparable directamente con el anterior. Para ello medimos en nuestro registro la altura del máximo principal y la distancia horizontal a los mínimos. Estas mediciones arrojan respectivamente 78 y 3 unidades arbitrarias (Fig. 11). Dado que en el gráfico teórico el máximo se encuentra a 5 cm. sobre el eje de ordenadas y los mínimos a 10 cm sobre el eje de abscisas los factores de escala son respectivamente 15,6 y 0,33 unidades arbitrarias/cm. Sobre la base de estos factores de escala se ha trazado el gráfico teórico adecuado para efectuar la comparación (Fig. 13, anexo).

Según se observa, las formas de las curvas son similares, pero no hay buen acuerdo entre teoría y experiencia. Esto se debe a que la placa fotográfica no responde en forma lineal a la intensidad de luz que recibe.

En estudios cuidadosos se corrige la curva experimental de acuerdo a la sensibilidad de la película fotográfica, lo que implica técnicas y cálculos engorrosos que están fuera de los propósitos de este trabajo.

INTERFERENCIA POR DOBLE RANURA

Consideraciones teóricas

En este caso, la intensidad está dada por

$$I \propto A^2 = 4 A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \cos^2 \gamma \quad (11)$$

siendo

$$\beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \quad \gamma = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$$

donde a = ancho de las rendijas y d = separación entre ellas. Los demás parámetros son los mismos que en el caso anterior.

Analizando la ecuación (11) se observa que $A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$ es la

misma función que describe la intensidad en el caso de difracción por una sola abertura.

Por otra parte, las variables β y γ no son independientes, sino que están ligadas por la relación.

$$\frac{\gamma}{\beta} = \frac{d}{a} \quad (12)$$

luego, para un dado valor de β conociendo a y d , se obtiene γ .

USO DEL EQUIPO

Tomando la diapositiva A (ahora con las dos aberturas libres), se siguen los mismos procedimientos detallados en el caso anterior para lograr el registro de intensidades (Fig. 14, anexo).

El paso siguiente consiste en calcular numéricamente la intensidad. Para este cálculo, gran parte del trabajo ya está realizado, puesto que $A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$ se graficó anteriormente (Fig. 12).

Falta representar entonces, $\cos^2 \gamma$ y multiplicar ambas funciones. Para ello se debe tener en cuenta la relación establecida anteriormente (12).

En nuestro caso:

$$\frac{d}{a} = 5$$

luego:

$$5\beta = \gamma$$

Esta última relación (a través de los parámetros experimentales) proporciona la escala para representar $\cos^2 \gamma$.

Multiplicando punto a punto las dos funciones (Figs. 12 y 15) se obtiene la intensidad total correspondiente a las dos rendijas (Fig. 16) anexo).

Debe notarse que la intensidad en el origen es cuatro veces mayor con dos aberturas que con una sola, lo que sólo modifica los factores de escala.

Esto no ha sido tenido en cuenta en los cálculos. Además al hacer el registro se adecuó el microdensímetro para que este factor no aparezca.

Finalmente, falta comparar la intensidad calculada en unidades arbitrarias con los valores experimentales. En nuestro caso, encontramos en ordenadas un valor de intensidad del máximo principal de 76 unidades arbitrarias (Fig. 14) a la que le corresponde un valor $A_0^2 = 5$ cm. (Fig. 16) y en abscisas 3 unidades arbitrarias (Fig. 14) al que le corresponde un valor de 10 cm. en el gráfico respectivo (Fig. 16).

Corrigiendo estos factores de escalas, se obtienen la intensidad correspondiente a la doble ranura en función de los datos experimentales (Fig. 17, anexo).

Se observa en nuestro caso, que si bien la posición de los máximos teóricos se ajusta muy bien los datos experimentales, las intensidades tienen diferencias considerables (esto se debe a las razones apuntadas anteriormente respecto a la sensibilidad de la película).

Por otra parte hay que notar que en la intensidad calculada (Fig. 16), la función $A_0^2 \sin^2 \beta / \beta^2$ (en línea de trazos) modula las intensidades de los máximos de interferencia.

Si bien, como ya se dijo, no hay buen acuerdo teórico-experimental, el efecto de modulación se muestra muy bien si se superponen los registros de difracción por una abertura (Fig. 11) y el de interferencia por dos aberturas (Fig. 14)

INTERFERENCIA POR RANURAS MÚLTIPLES

Consideraciones Teóricas

En tal caso la intensidad está dada por

$$I \sim A^2 = A_0^2 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2} \frac{\sin^2 N \gamma}{\sin^2 \gamma} \quad (13)$$

donde N es el número de aberturas, β y γ son los mismos que en los casos anteriores y también vale la relación

$$\frac{\gamma}{\beta} = \frac{d}{a} \quad (14)$$

Uso del equipo:

Se debe emplear la diapositiva C y se siguen las mismas recomendaciones que en los casos anteriores para lograr el registro de intensidades (Fig. 18, anexo)

Para encontrar la función intensidad, es conveniente graficar primero $\text{sen}^2 N \gamma$ para $N = 20$ (Fig. 19 anexo); luego $\text{sen}^2 \gamma$ (Fig. 20 anexo) y efectuar el cociente de ambas funciones (punto a punto). Al hacer este cociente se presentan indeterminaciones en $\gamma = n\pi$. Para levantarlas considere que

$$\lim_{\gamma \rightarrow n\pi} \frac{\text{sen}^2 N \gamma}{\text{sen}^2 \gamma} = N^2 = 400; \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

a la función cociente (Fig. 21, anexo) se la debe multiplicar por $\frac{\text{sen}^2 \beta}{\beta^2}$ (Fig. 22, anexo), que ha sido graficado teniendo

en cuenta la relación (14). En nuestro caso:

$$\frac{\gamma}{\beta} = \frac{d}{a} \approx 5$$

Nuevamente este producto de funciones se realiza punto a punto para obtener la intensidad total correspondiente a las 20 ranuras con una relación ancho-separación de 5 (Fig. 23 anexo).

Para la comparación cuantitativa de la teoría y experiencias se deben adecuar las escalas como se hizo en casos anteriores.

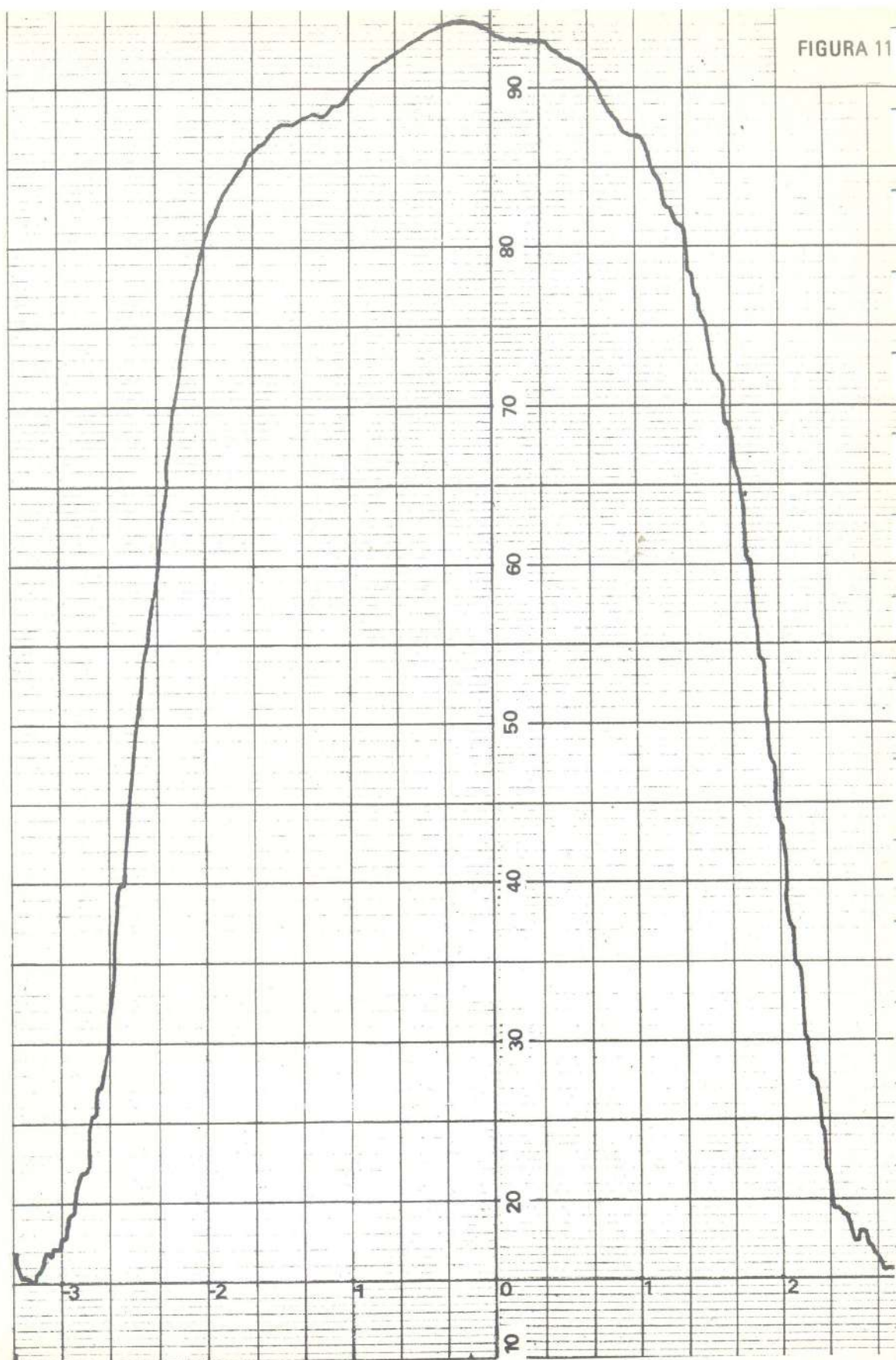
ANEXO I

Tal como se indica en el texto existen muchos recursos que permiten mostrar cualitativamente algunos de los fenómenos ondulatorios tales como la interferencia y la difracción. Existen también muchos recursos para realizar observaciones cuantitativas que permiten determinar algunos de los parámetros característicos de las ondas y comparar los resultados obtenidos experimentalmente con los predichos por la teoría.

Es, sin embargo, muy difícil disponer de un equipo con el que pueda realizarse una verificación experimental de la validez de las expresiones teóricas de la intensidad de un patrón de interferencia o difracción.

En este anexo se ofrecen los perfiles de intensidades obtenidos por medio de un microdensímetro. Empleando estos registros, y construyendo perfiles teóricos adecuados a los parámetros experimentales tal como se describe en el texto, se podrá realizar un estudio comparativo de las intensidades teóricas y las medidas en el laboratorio.

FIGURA 11



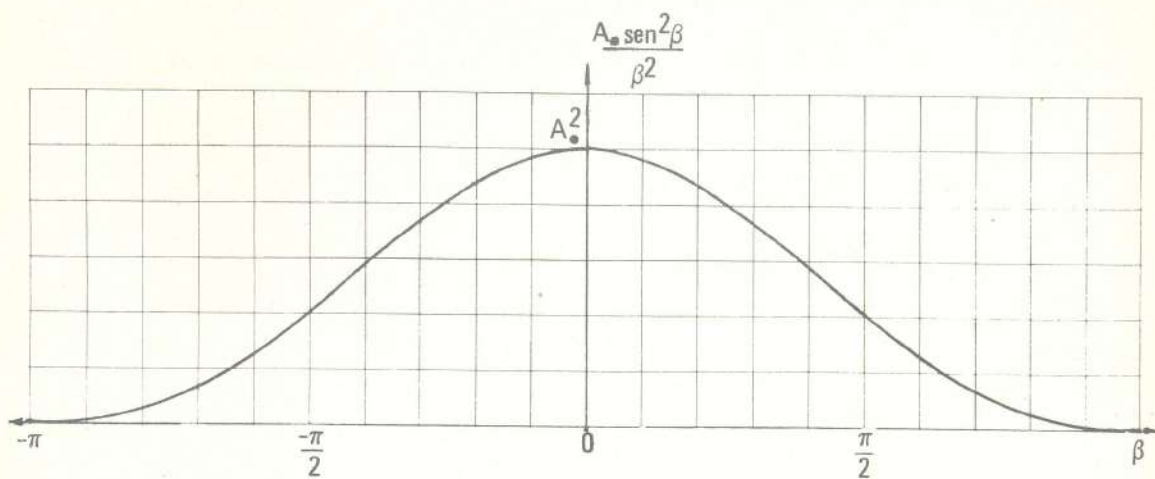


FIGURA 12

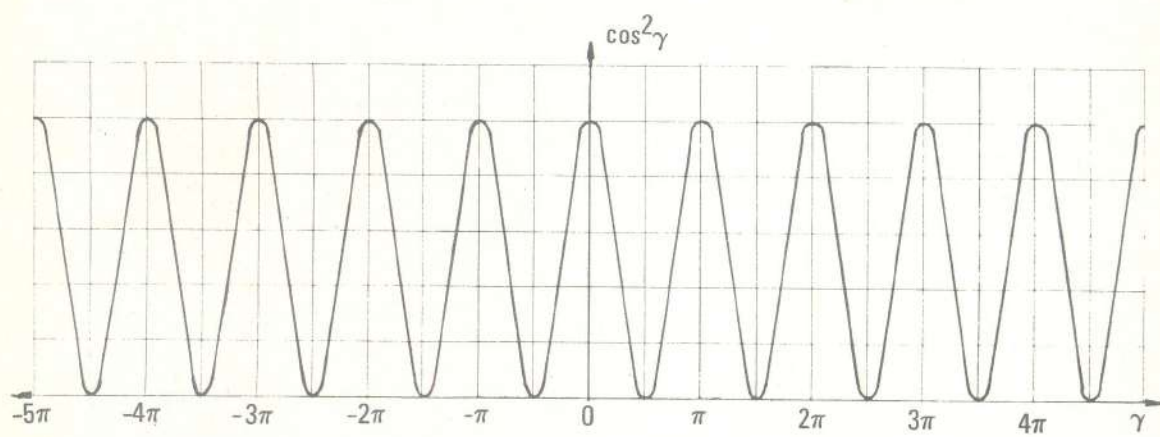


FIGURA 15

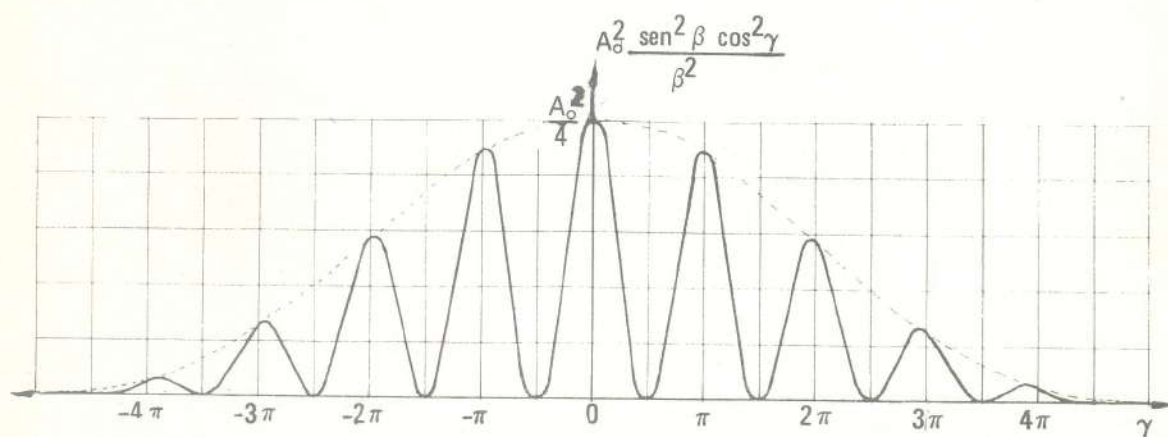


FIGURA 16

FIGURA 13

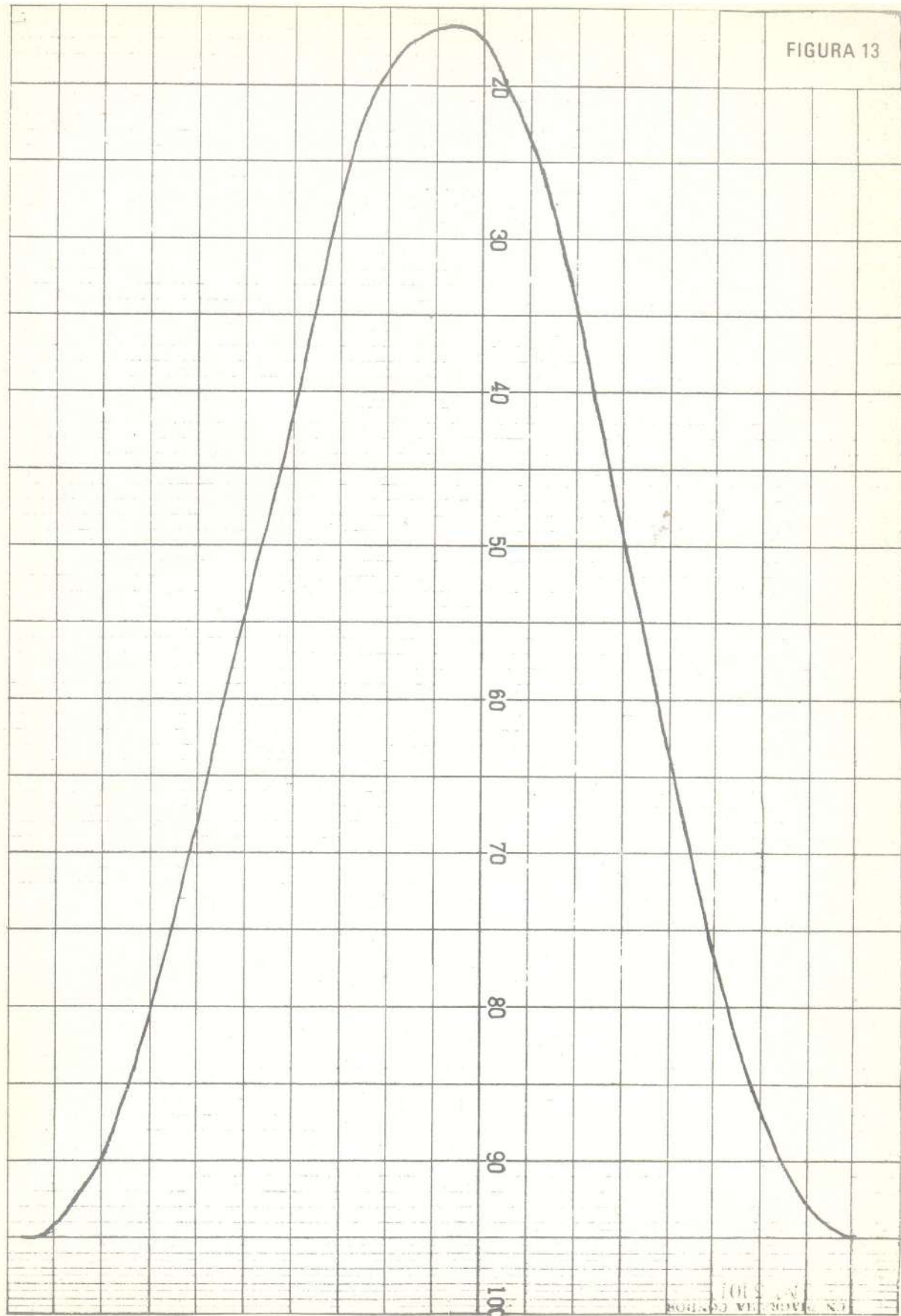


FIGURA 14

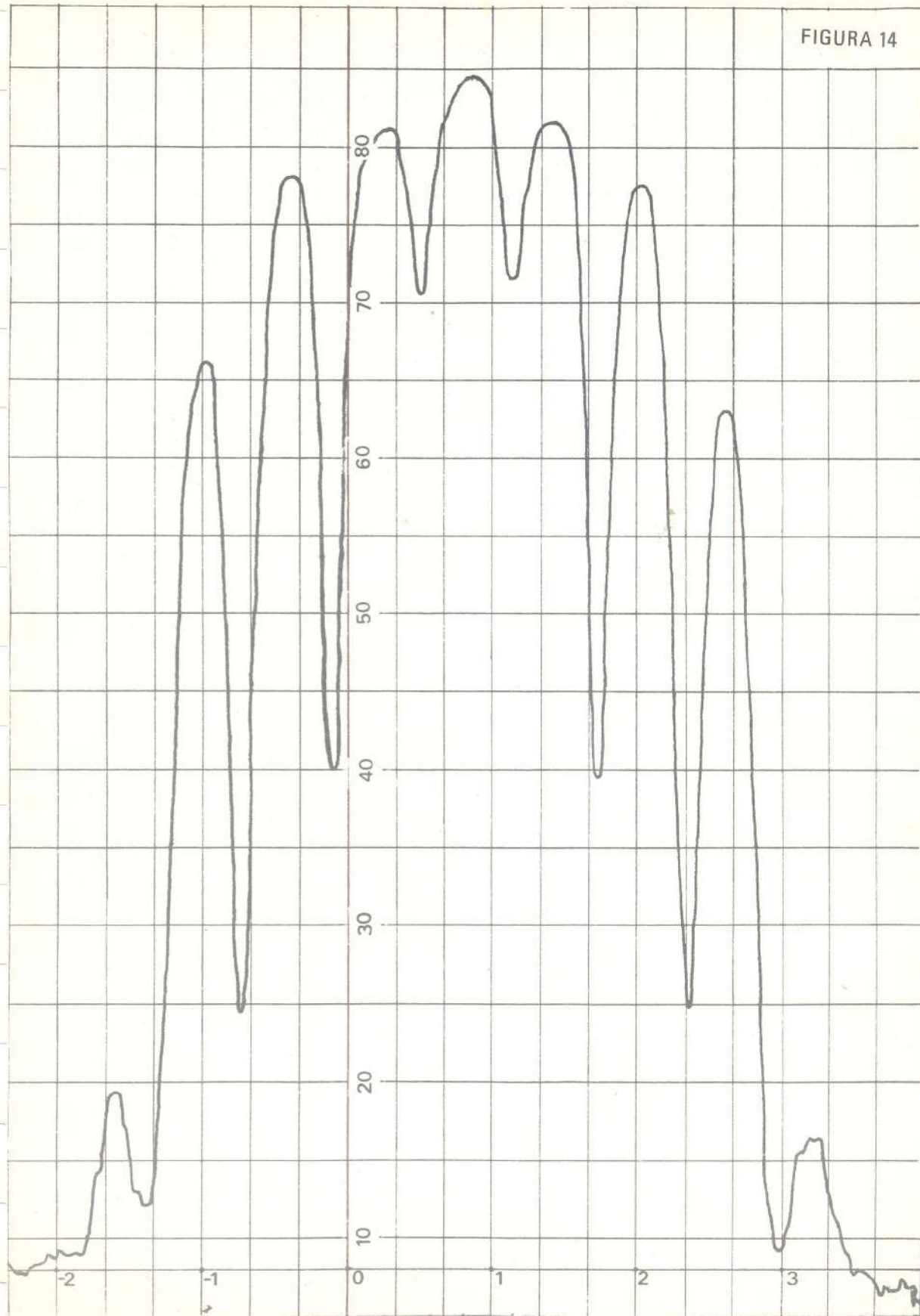
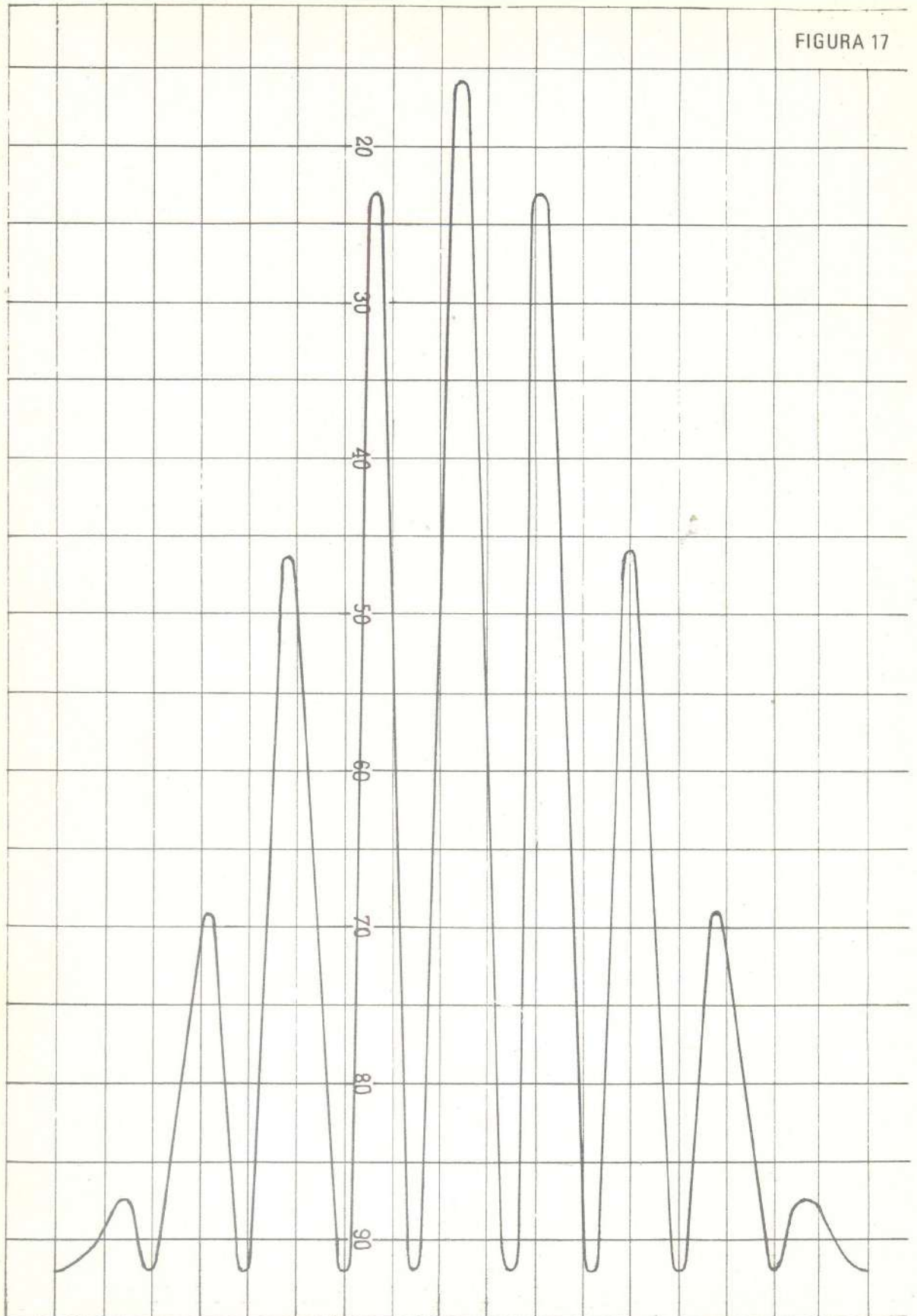


FIGURA 17



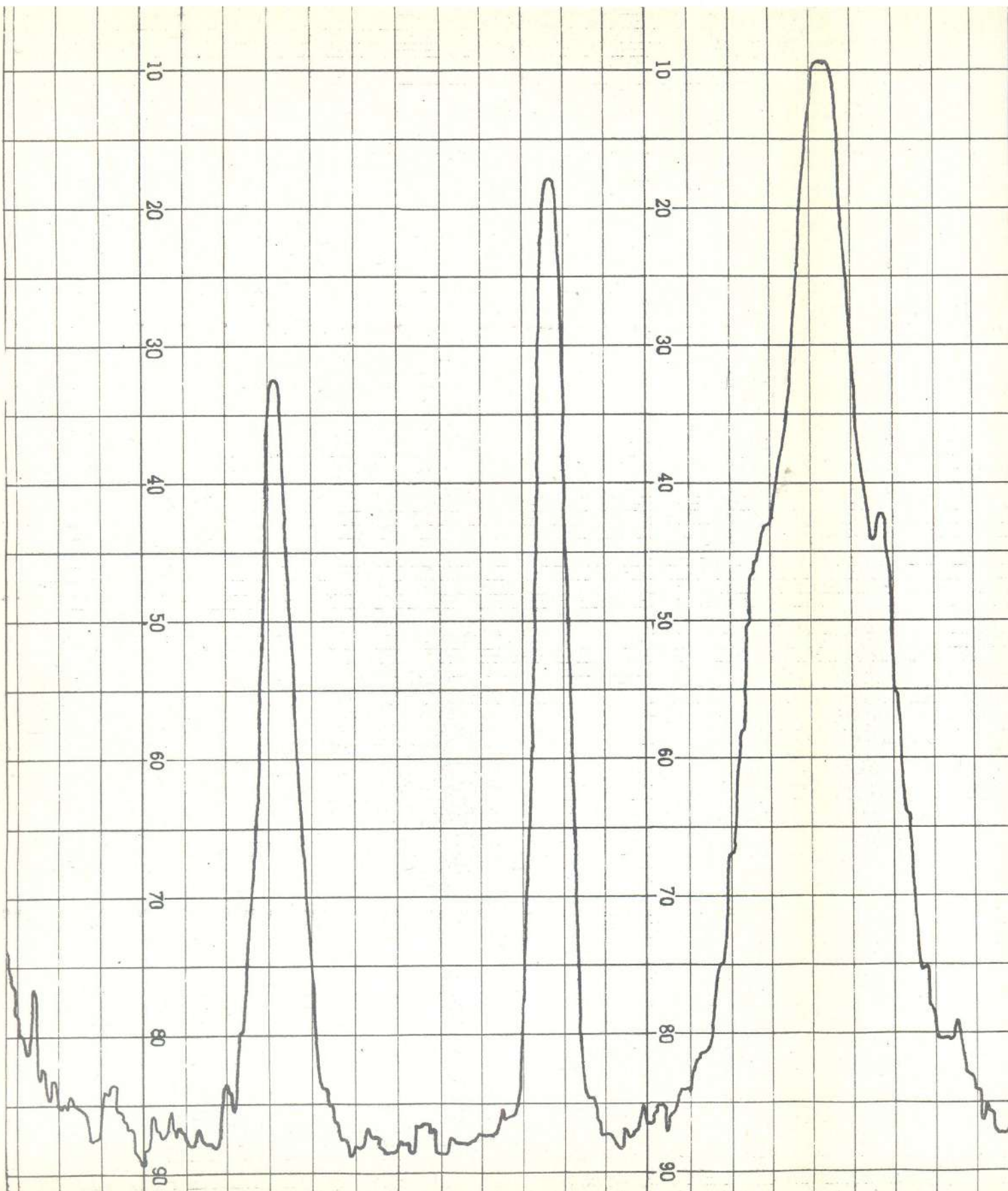
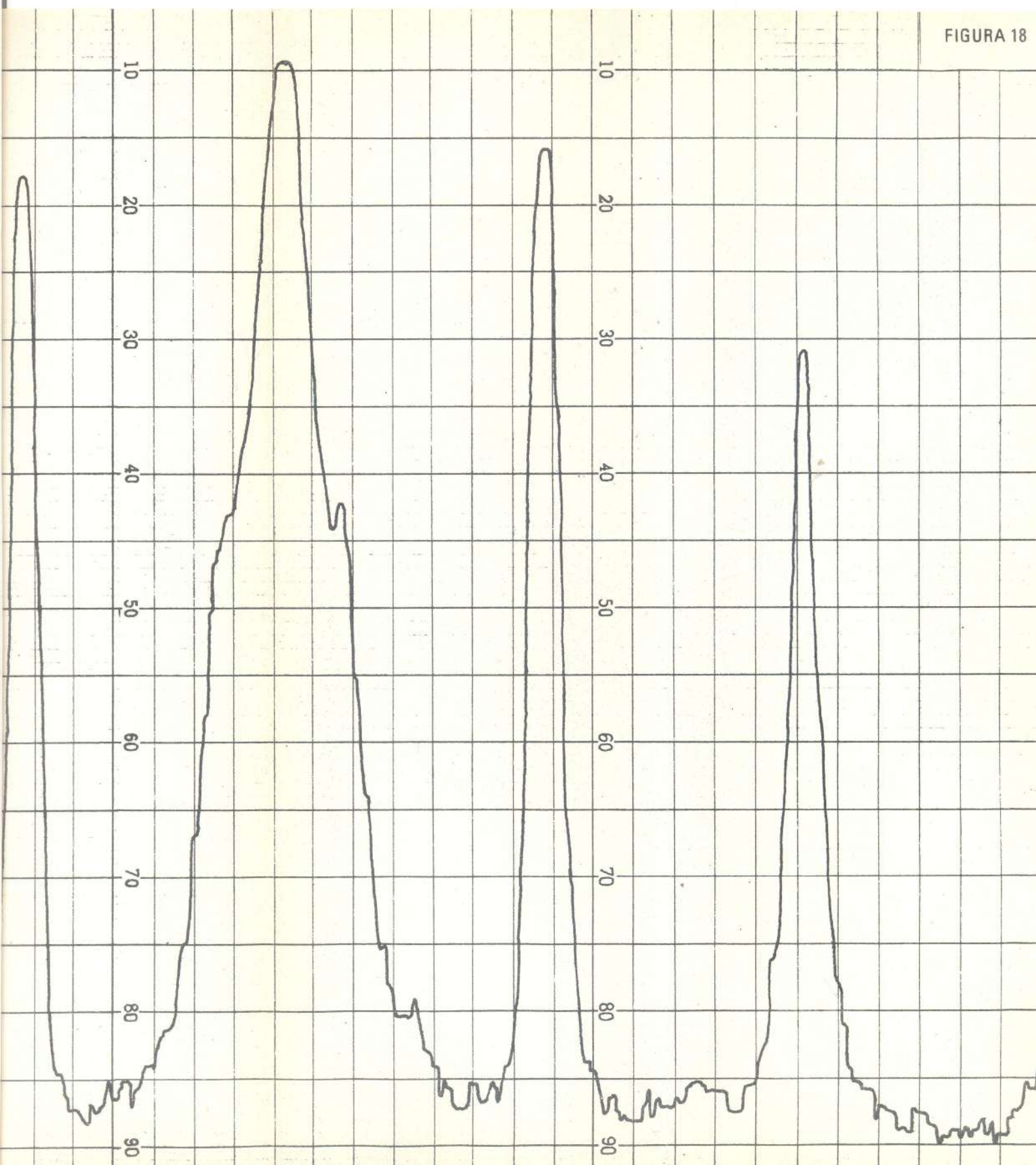


FIGURA 18



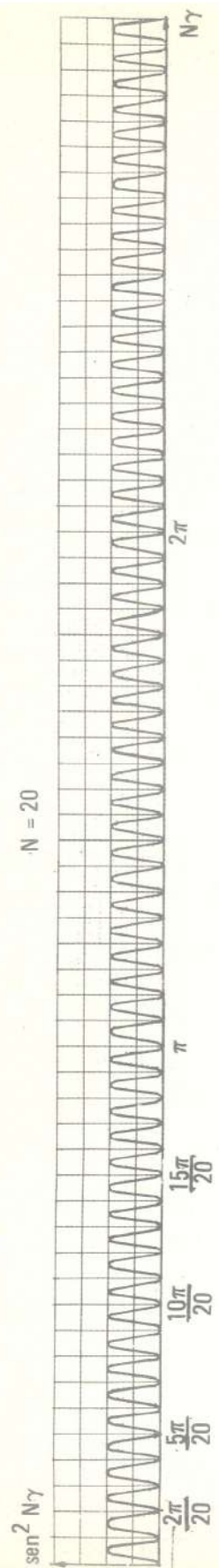


FIGURA 19

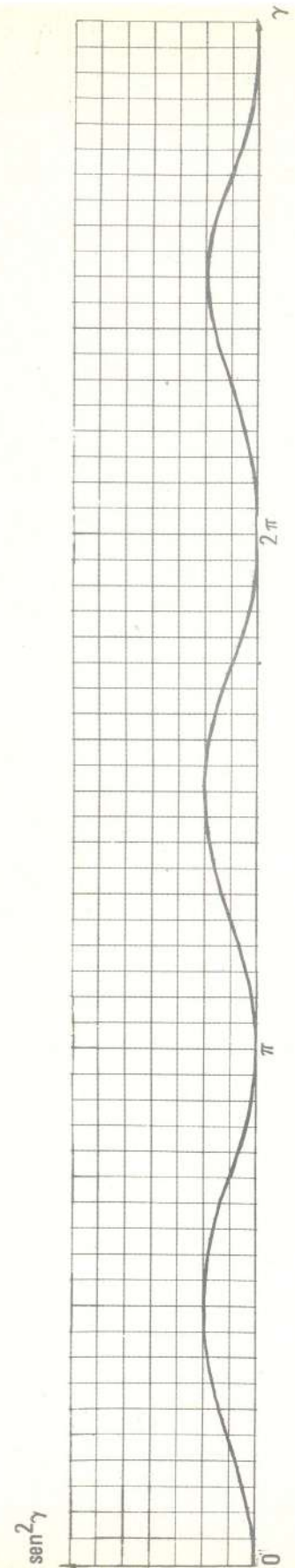


FIGURA 20

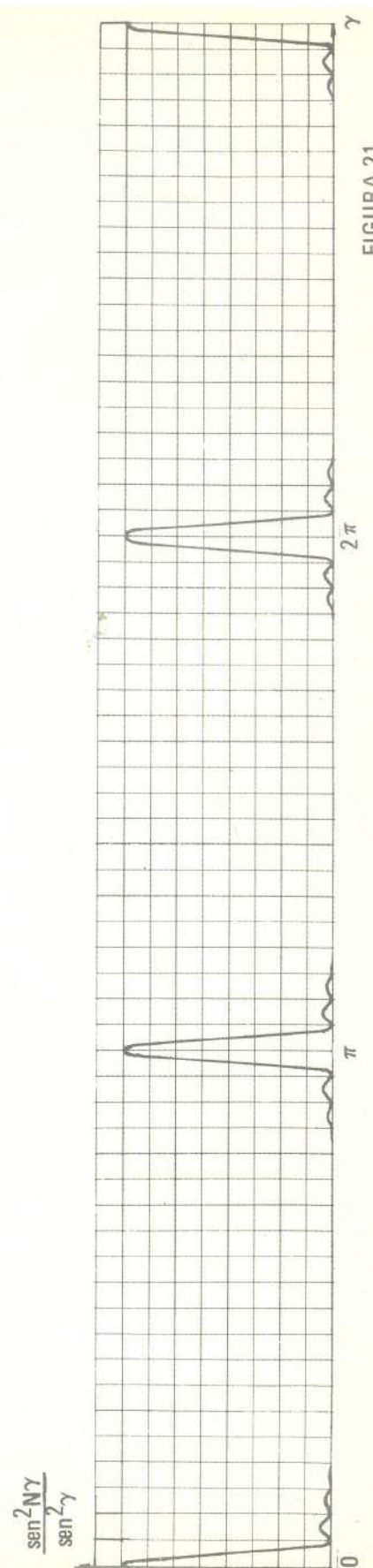


FIGURA 21

$$\frac{\sin^2 N\gamma}{\sin^2 \gamma}$$

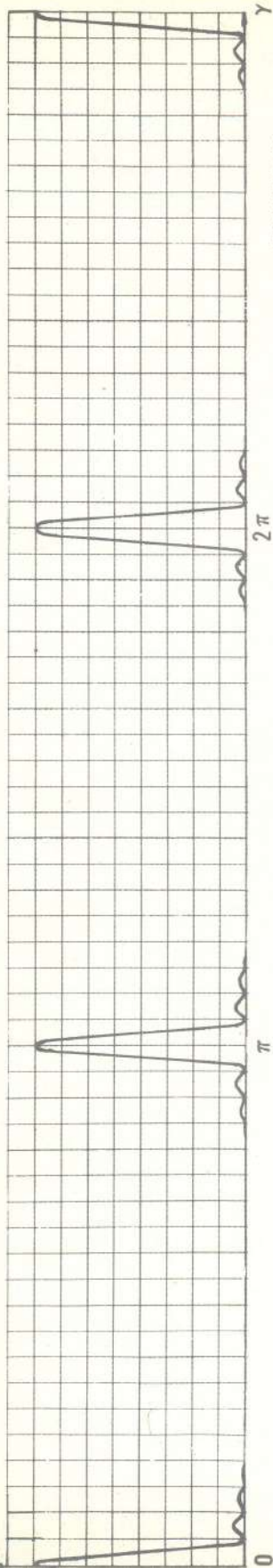


FIGURA 21

$$\frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$

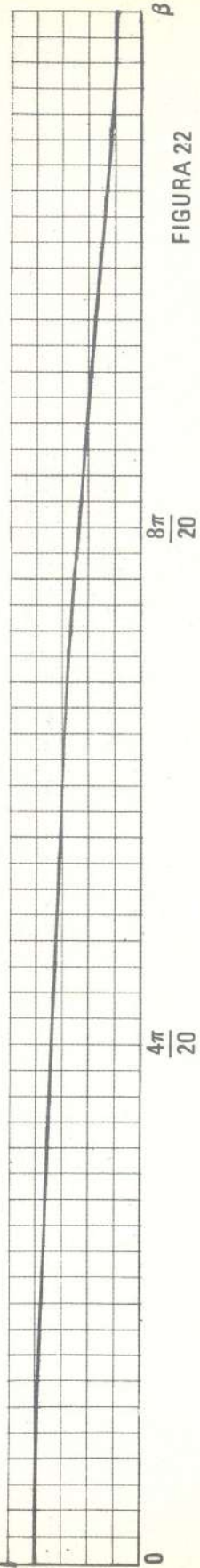
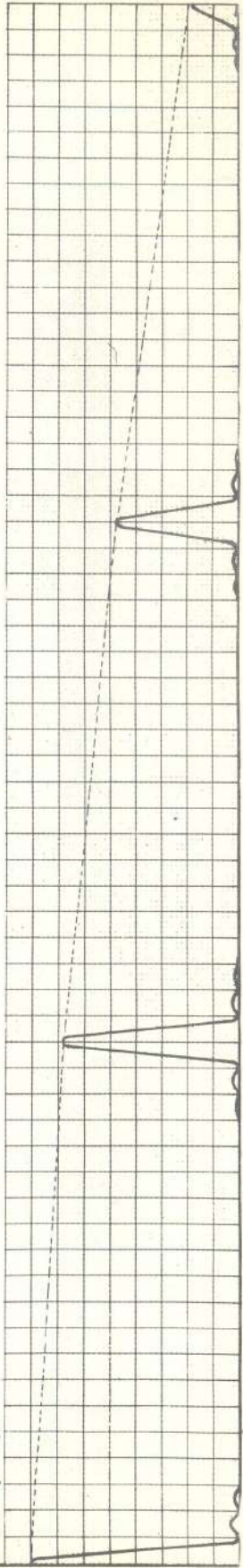


FIGURA 22

$$\frac{\sin^2 N\gamma}{\sin^2 \gamma} \cdot \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2}$$



ANEXO II

Entre los diferentes recursos metodológicos para la enseñanza de la óptica física y de los fenómenos ondulatorios citaremos los siguientes equipos:

1. Ondas en medios elásticos (ECYT - 12-001/2) que permite mostrar los fenómenos de reflexión, refracción e interferencia en un medio elástico. Permite también medir velocidades de propagación y observar cambios de fase. Consta de dos resortes, uno de ellos de espirales planas y uno de alambre redondo.
2. Cuba de ondas (ECYT - 12-615): permite mostrar las características de las ondas, (velocidad, frecuencia, longitud), los fenómenos de reflexión (espejos, planos elípticos y parabólicos), la formación de imágenes virtuales, los fenómenos de refracción (ondas planas, ley de Snell, lentes divergentes y convergentes, lámina de caras paralelas e índice de refracción variable en forma continua); dispersión, principio de Huyghens; ondas estacionarias; interferencia (ondas planas y circulares, formación de líneas nodales, separación de líneas nodales, medición de longitudes de onda, espejo de Lloyd); difracción (por una rendija, por borde y por obstáculo); efecto Doppler y efecto túnel.

El equipo consta de cuba para el agua de plástico con paredes inclinadas para evitar las reflexiones; motor de corriente continua, con caja reductora, transmisión excéntrica mediante leva de acero y palanca de oscilación de bronce, todo montado en carcasa de aluminio extruído anodizado; fuente de alimentación que proporciona 12 V CA y una tensión continua variable entre 4 y 10 V; fuente de luz con lámpara de filamento recto alojada en un receptáculo de acero, con pie; juego de generadores; espejo de proyección, indicador de profundidad del agua y otros accesorios. Se incluye un manual con instrucciones para el uso. Se presenta en valija de cedro y guatambú cuyo interior es de poliéster y tiene formas moldeadas para contener los diferentes elementos.